Aus der Chirurgischen Abteilung des
St. Gertrauden-Krankenhauses, Berlin-Wilmersdorf
bisheriger Chefarzt: Professor Dr. Werner Block
jetziger Chefarzt: Dr. Waldemar Bittner
seit 1. 4. 1963

Funktionsprüfungen bei arteriellen Durchblutungsstörungen der unteren Gliedmaßen mit einem Fahrradergometer

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Brigitte Godenschweger, geb. Thiessenhusen

aus Kiel

1965

Druck:

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.

DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE

1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus der Chirurgischen Abteilung des
St. Gertrauden-Krankenhauses, Berlin-Wilmersdorf
bisheriger Chefarzt: Professor Dr. Werner Block
jetziger Chefarzt: Dr. Waldemar Bittner
seit 1. 4. 1963

Funktionsprüfungen bei arteriellen Durchblutungsstörungen der unteren Gliedmaßen mit einem Fahrradergometer

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Brigitte Godenschweger, geb. Thiessenhusen
aus Kiel

Dekan: Professor Dr. med. Wilhelm M a ß h o f f

Referent: Professor Dr. med. Werner B l o c k

Korreferent: Professor Dr. med. Otto H. G a u e r

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 14. 12. 1965

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN

Ziel und Zweck der Untersuchungen

Die Diagnose Durchblutungsstörungen (= Dblst.) ist bei den Patienten der folgenden Versuchsreihen bereits objektiv durch Aortographie bzw. Arteriographie, Oszillographie und die bekannten Funktionsproben gesichert worden. Der hier unternommene Arbeitstest auf einem Fahrradergometer ist ein zusätzlicher Test auf einem Fortbewegungsmittel des täglichen Lebens. Er hat das Ziel, die Leistungsfähigkeit des Patienten bei Arbeit mit den an arteriellen Dblst. erkrankten unteren Extremitäten auf dem Fahrradergometer objektiv und graduell festzustellen. Dieser Arbeitstest ermöglicht es außerdem, die Erfolge einer konservativen oder operativen Behandlung, gemessen an der dabei geforderten vermehrten funktionellen Leistung zu beurteilen. Es ist außerdem bei der Entlassung eines Patienten mit arteriellen Dblst. aus stationärer Behandlung von Vorteil zu wissen, wie groß seine Fähigkeit ist, sich mit eigener Kraft fortzubewegen, sei es auf dem Fahrrad oder zu Fuß, um ihm Verhaltungsmaßregeln mitzugeben. Die Ergebnisse des Leistungstestes auf dem Fahrradergometer werden zu den Ergebnissen der Aorto- oder Arteriographie, zum Ratschowschen Arbeits- und Lagerungsversuch, sowie zu den anamnestischen Angaben über die Länge der Gehstrecke in Beziehung gesetzt und verglichen.

Bei einem Teil der Patienten wird die Leistungsfähigkeit der erkrankten Extremitäten vor und nach Behandlung oder Operation festgestellt und verglichen.

Definition der arteriellen Durchblutungsstörungen.

Die peripheren Durchblutungsstörungen umfassen nach RATSCHOW als Sammelbegriff eine Gruppe von Krankheitsbildern, deren verbindendes und führendes klinisches Merkmal die scheinbar örtliche Begrenzung der krankhaften Erscheinungen auf Hände, Füße, Nase, Ohren, Arme und Beine ist.
Die arteriellen peripheren Durchblutungsstörungen können nach RATSCHOW in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Angioorganopathien
2. Angioneuropathien
3. Angiolopathien.

Bei 1 finden sich Wandveränderungen der Gefäße in allen Stadien der Erkrankung. Bei 2 ist klinisch das anfallweise Auftreten der Erscheinungen und Beschwerden typisch; die Struktur der Gefäße bleibt lange Zeit unverändert. Bei 3 beruhen die pathologischen Erscheinungen auf Fehlreaktionen oder Zellveränderungen der terminalen Gefäße.
Die Angioorganopathien unterteilt RATSCHOW in: den peripheren Typ, den Oberschenkeltyp, den Beckentyp, den Schul-

tergürteltyp und den Carotistyp.

Eine andere einfachere und für diese Arbeit ausreichende Einteilung trifft PÄSSLER, nämlich in: funktionelle und organische Dblst. Er macht jedoch den Vorbehalt, daß sich aus zunächst rein funktionellen Dblst. in späteren Stadien oft organische Dblst. entwickeln, und andererseits fast jede organische Dblst. zusätzlich eine funktionelle Störung bedingt. Diese Einteilung in funktionelle und organische Dblst. könnte demnach auch als Einteilung in zwei Stadien ein und derselben Krankheit aufgefaßt werden.

Bei der Diagnose einer Dblst. soll in dieser Arbeit aus praktischen Gründen das Hauptaugenmerk auf die Schwere der Erscheinungen gelegt werden. Neben unterschiedlichen Veränderungen an den Gefässen finden sich nach BLOCK bei sämtlichen wegen Dblst. sympathektomierten Patienten auch histologische Veränderungen der Grenzstrangganglien, sowie der intraganglionären Gefäße, die sich aber bei verschiedenen Dblst., ob rein funktioneller, entzündlicher oder degenerativer Art, mehr quantitativ als qualitativ unterscheiden. Doch diese Untersuchungsergebnisse sollen hier ebenso wie die pathologischen Veränderungen an den Gefässen selbst außer Acht gelassen werden, weil sie für unsere Fragestellung ohne Beziehung sind.

Ätiologie der arteriellen Durchblutungsstörungen und Verschlußkrankheiten.

Die arteriellen Verschlußkrankheiten entstehen primär durch Hypoxämie der Gefäßwand, die wiederum durch abdichtende Niederschläge auf dem Endothel von Fibrin (RATSCHOW), Plasmalipoiden (HALL) und Cholesterin verursacht wird.
Die Hypoxämie der Gefäßwand kann nach ERB, LAUDA, RATSCHOW durch folgende Faktoren gefördert werden:
Infekte aller Art, Nikotinabusus, Alter, Nachlassen der Schilddrüsentätigkeit, Hormone, Diabetes mellitus, mechanische Faktoren wie Hochdruck, Stress, sowie familiäre Häufung.

Symptomatik der peripheren arteriellen Durchblutungsstörungen.

Die Symptome der peripheren arteriellen Dblst. sind am besten in objektive und subjektive einzuteilen:
O b j e k t i v e S y m p t o m e: Hautfarbveränderungen wie Blässe, Zyanose und Röte; Erniedrigung der Hauttemperatur; charakteristisches Verhalten der peripheren Pulse; örtliche Gewebsveränderungen wie örtliche Gewebsdefekte bis zur Gangrän und Ödeme. Alle diese Symptome beobachtete

bereits ERB.

S u b j e k t i v e S y m p t o m e: Das Hauptsymptom ist der Schmerz. 90 % aller Patienten mit arteriellen Dblst. suchen wegen ihrer Schmerzen den Arzt auf (RATSCHOW).

Das Symptom "Schmerz" wurde von ERB aufgegliedert in: Parästhesien und Schmerzen in der Fußsohle, den Füßen und Unterschenkeln, sowie Spannungen, Krampfgefühl und Steifigkeit in den Waden und höher hinauf, wie Schmerzen in der Hüfte, im Kreuz und im Ischiadikusgebiet. ERB betonte jedoch, daß diese Beschwerden nur bei Belastung auftreten.

RATSCHOW trifft eine Einteilung des Schmerzes in: Latenzschmerz bei organischen Dblst., Anfallsschmerz bei Angioorganopathie, Schmerzen auf starke Temperaturreize bei Angiolopathien.

Er unterscheidet außerdem 1. den Sofortschmerz vom 2. Ruheschmerz. (1. intermittierendes Hinken - das Sauerstoffangebot reicht bei vermehrter Muskelarbeit nicht aus -, 2. chronisch gedrosselte Blutzufuhr.)

Das eindrucksvollste Symptom und Beispiel für den Latenzschmerz ist die Claudicatio intermittens (BLOCK, ERB, RATSCHOW).

Nach HIPP wird dieses intermittierende Hinken regelmäßig erst dann beobachtet, wenn der Verschluß eines größeren

Gefäßes erfolgt ist. Diese Annahme leitet über zur Frage nach der U r s a c h e d e s S c h m e r z e s.
Es ist bis jetzt noch nicht eindeutig entschieden, ob der Schmerz Folge der gestörten Oxydationen ist, oder ob er durch Stoffwechselprodukte ausgelöst wird, die bei gedrosselter Zufuhr nicht abtransportiert werden können (BLOCK, KISCH, RATSCHOW).
Als Ursprungsort der Schmerzen kommen die Gewebe, die Gefäßwände und die Zentren der Schmerzempfindung im Thalamus opticus in Frage (RATSCHOW).

Methoden zur Diagnostik peripherer arterieller Durchblutungsstörungen mit besonderer Berücksichtigung der Arbeitstests mit mechanischen Mitteln.

Die erste Funktionsprobe wurde von ERB nach dem eindrucksvollstem Symptom der arteriellen peripheren Durchblutungsstörung, dem Schmerz, entwickelt:
In seiner Gehprobe zählt er die Anzahl der Schritte, nach denen die typischen Wadenschmerzen bzw. Schmerzen in der Fußsohle oder in den Füßen auftreten.
COLLENS und WILENSKY wandelten diesen Versuch ab, indem sie die Patienten auf genau nach Schritten abgemessenem Gelände gehen ließen.
BOYD, HALL, RATCLIFFE, JEPSON und JAMES entwickelten das Claudicometer, eine Gehmaschine, mit deren Hilfe die ge-

naue Geschwindigkeit des Patienten und die zurückgelegte Entfernung in Meilen gemessen wird. Zugleich kann das Einsetzen der Fußblässe beobachtet werden, da die Patienten auf einem sich gegensinnig bewegenden Band barfuß gehen.

SAMUELS kombinierte 1929 als erster Muskelarbeit und Erhöhung der Extremität für die Funktionsprobe.

Er ging davon aus, daß bei Horizontallagerung des Patienten eine Erhebung des Beines in einem Winkel von 90° bei Arterienverengerung oder Arterienverschluß Blässe des Fusses hervorruft. Der Patient liegt auf einem niedrigen Bett, erhebt beide Beine bis zu einem Winkel von 90° und führt in dieser Lage schnelle Beugung und Streckung beider Füße aus, bis Schmerz eintritt. Bei diesem Funktionstest wird außerdem die Zeit bis zum Auftreten von Blässe der Fußsohle gemessen.

Diese Methode wurde von RATSCHOW als Lagerungsversuch übernommen. Auf dieser Methode aufbauend entwickelte er seinen Ergometerversuch, der später von SCHNEIDER, sowie MEYRAN abgewandelt wurde.

Auch KISCH benutzt für seinen Arbeitstest Horizontallage des Körpers. Er läßt die Patienten eine maximale Beugung im Sprung-, Knie- und Hüftgelenk bei möglichst starker Adduktion des Knies an die Bauchwand ausführen, mit unmittelbar sich anschließender maximaler Streckung in

diesen Gelenken, im Tempo von 30x in der Minute, bis zur Schmerzprovokation.

Bei allen bisher erwähnten Arbeitstests ist die Schmerzauslösung das Maß für die Arbeitsgröße, aus dem wieder Schlüsse auf den Grad der arteriellen Dblst. gezogen werden können. Alle Tests haben gemeinsam, daß sie von den Angaben der Patienten abhängen, also subjektiv gefärbt sind. Ein interessanter neuer Funktionstest ist der von LINDSTRÖM entwickelte Arbeitsversuch auf einem Fahrradergometer, bei dem sich die Patienten in horizontaler Lage befinden und unter einem Winkel von 75° aufwärtstreten. Die Patienten arbeiten bis zum Auftreten des Muskelschmerzes. Während des Arbeitsversuches wird die Ischämiephase an der Fußsohle beobachtet, ihre Dauer und die Art der Erholung. Neu an diesem Test ist die Bewegung des Radfahrens, die bei der Art der Versuchsanordnung Muskeln des Unter- und Oberschenkels gleichmäßig in Anspruch nimmt, während bei den vorher erwähnten Versuchen hauptsächlich die Unterschenkelmuskeln arbeiten. LINDSTRÖM konnte daher sogar nach Auftreten der Schmerzen in einer bestimmten Muskelgruppe mit einiger Sicherheit auf den Sitz der Unterbrechung bzw. Verengerung der arteriellen Strombahn schließen. Bei einem Vergleich zwischen Arbeitsleistung beim Radfahren in normaler Haltung und beim Aufwärtsfahren stellt LINDSTRÖM fest:

1. die Arbeitsleistung in normaler Haltung ist wesentlich größer (hydrostatischer Druck!) 2. Beim Aufwärtstreten wird eine Ischämie in 13 von 14 Fällen festgestellt, während beim Treten in normaler Haltung nur 3 Beine ischämisch wurden und 5 cyanotisch.

Von den sonstigen Untersuchungsmethoden soll hier von den physikalischen indirekten die Oscillographie (GESENIUS), von den direkten Verfahren die Arteriographie und die Aortographie (DOS SANTOS) erwähnt werden.

Das Prinzip der Oscillographie besteht darin, die pulsatorischen Volumen- oder Druckschwankungen der Arterie aufzuzeichnen (SCHOOP,W., MARX,H.). Mit dieser Methode erfaßt man nicht ein einzelnes Gefäß, sondern immer die Summe der Druckschwankungen der in diesem Querschnittsbereich vorhandenen Arterien.

Der am meisten gebrauchte und beste Apparat ist der von GESENIUS-KELLER, der auf bilaterale Messung eingestellt ist (GESENIUS). Mit der Oscillographie ist man oft allein in der Lage, den Sitz einer Arterienverengerung oder eines Arterienverschlusses zu ermitteln (BOYD,A.M., GESENIUS, MARX, SCHOOP).

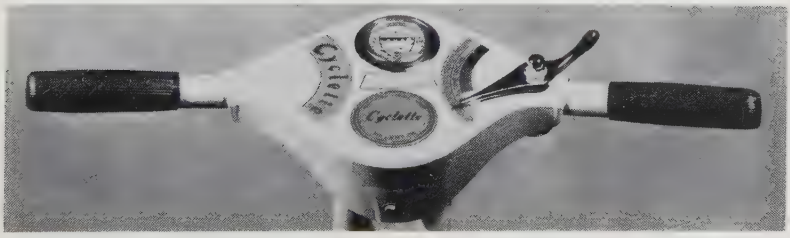
Unter Angiographie werden Kontrastdarstellungen der Gefäßlumina und ihre Durchströmung durch Röntgenaufnahmen verstanden. Die Angiographie ist die beste Methode in der Diagnostik der Dblst. Mit der Serienangiographie

bzw. - aortographie ist eine einwandfreie Darstellung der peripheren Gefäße und ihrer krankhaften Veränderungen möglich (u.a. HASSE, PÄSSLER). Nicht nur der genaue Sitz einer Veränderung oder eines Stops ist sichtbar, sondern es wird außerdem ein genaues Bild des Kollateralkreislaufes vermittelt.
Über die Leistungsfähigkeit des Kollateralkreislaufs kann allerdings nur ein Funktionstest etwas aussagen. Aus diesem Grunde soll die Vielzahl der Funktionstests um einen weiteren vermehrt werden.

Wir haben uns die Aufgabe gestellt zu untersuchen, in wieweit ein normales Fahrradergometer als Testgerät für einen Funktionstest zu verwenden ist, ob mit seiner Hilfe genaue Rückschlüsse auf die Schwere oder den Grad einer Durchblutungsstörung gezogen werden können und ob der Grad der Besserung nach Operation oder konservativer Behandlung damit gemessen werden kann.
Es soll also weder die arterielle Dblst. als solche diagnostiziert werden (dies ist mit Hilfe der Anamnese, der objektiven Merkmale wie Hautfarbe, Wärme, geringer oder fehlender Pulsschlag und vor allem mit Hilfe des RATSCHOW-schen Lagerungs- und Arbeitsversuchs besser und wesentlich schneller festzustellen), noch ihre Art, ihr Sitz und ihre Ausdehnung (Aorto-Arteriographie), sondern es soll eine Aussage

Abbildung 1a und 1b zu Seite 11

Cyclette Olympic



Armaturenbrett

Bei unserem Gerät befindet sich anstelle des Schildes „Cyclette" der Tageskilometerzähler in 0,1 km

über die bei der bestehenden arteriellen Dblst. noch vorhandene Leistungsfähigkeit der betreffenden Extremität, dh. also auch über die Leistungsfähigkeit eines etwa vorhandenen Kollateralkreislaufs gemacht werden.

Beschreibung der Apparatur.

Es handelt sich um die im Handel befindliche "Cyclette Olympic" der Firma B. Goldberg, Köln (s. Abbildung 1a und 1b).
Die Cyclette ist ein feststehendes Fahrrad ohne Räder, das auf Stützen steht. Durch einen mit Hilfe eines besonderen Bremssystems verstellbaren Widerstand können Steigungen von 0,3% - 13% eingestellt werden. Die Bremsleistung ist durch Einbau einer Federwaage in den Bremszug genau dosierbar. Die Höhe des Sattels und der Lenkstange ist beliebig zu verstellen. Durch einen eingebauten Geschwindigkeitsmesser (km/st) und einen Tageskilometerzähler (0,1 km) ist die Leistung meßbar.

Warum wurde für den Arbeitstest ein Fahrradergometer ausgesucht?

Das Radfahren ist neben dem Gehen die einzige Möglichkeit einer gebräuchlichen aktiven Fortbewegung mit Hilfe der unteren Extremitäten. Erfahrungsgemäß können die Patienten mit arteriellen Dblst. der unteren Extremitäten ein

vielfaches ihrer Gehstrecke auf dem Fahrrad zurücklegen. Beim Gehen wird hauptsächlich die Wadenmuskulatur beansprucht, beim Treten auf dem Fahrrad arbeitet hauptsächlich der M. quadriceps, weniger die Gastrocnemius-Soleus-Gruppe und die Knöchel- und Fußmuskulatur. Die Arbeit verteilt sich beim Radfahren also auf mehrere und zum Teil mehr proximal gelegene Muskelgruppen als beim Gehen. Die proximal gelegenen Muskelgruppen haben bei den Patienten mit weiter distal gelegenen Arterieneinengungen oder -verschlüssen einen höheren Blutdruck zur Verfügung als die distal gelegenen und damit allein schon eine bessere Durchblutung. Der Blutdruckabfall beträgt unter normalen Bedingungen vom Zentrum zur Peripherie nur ca. 20 mm Hg (MENDLOWITZ zit. nach MARX,H.). Bei Arterienverschlüssen oder -einengungen ist der mittlere Druck distal niedriger als zentral, bedingt durch den erhöhten Widerstand in den Kollateralen und den erniedrigten peripheren Widerstand (EDHOLM,O.G., HOWARTH,S. & SHARPER-SCHAFER,E.P. zit. nach MARX,H.). Es ist daher verständlich, daß die Ermüdung bei Arbeit mit Hilfe distal gelegener Muskelgruppen (Gehen) früher eintreten muß, als bei Arbeit mit vorwiegend proximal gelegenen Muskelgruppen (Radfahren).
In der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht werden, ob das Fahrradergometer als Testgerät bei Durchblutungsstörungen der unteren Extremitäten geeignet ist.

Übersicht über die Versuchsreihen.

I. Zur Testung des Gerätes wurden 10 gesunde Versuchspersonen (=VP) bei einer Mindeststeigung von 5 - 7 % untersucht. Das Alter der VP lag zwischen 20 und 38 Jahren, es waren 4 Frauen und 6 Männer. Die Steigung von 5-7 % wurde gewählt, weil sich herausstellte, daß die gesunden VP bei einer Steigung von nur 3 % in absehbarer Zeit keine Ermüdung verspürten.

II. 32 Patienten mit arteriellen Dblst. an den unteren Extremitäten wurden auf dem Fahrradergometer getestet. Das Alter der Patienten schwankte zwischen 42 J. und 72 J. Die männlichen Patienten arbeiteten bei einer Steigung von 5 %, die weiblichen bei einer Steigung von 3 %. Es waren 24 Männer und 8 Frauen.

III. 10 Patienten wurden vor und nach Operation oder konservativer Behandlung getestet.

Versuchsanordnung und Methode.

Die gesunden Versuchspersonen wurden z.T. vormittags, z.T. nachmittags aus ihrer Arbeit heraus getestet. Es handelte sich bis auf 2 Ausnahmen um Ärzte und Schwestern, die durch Gehen oder Stehen bereits vor dem Versuch stundenlang belastet hatten. Die VP gingen zu dem Fahrrad und traten in aufrechter Haltung bis zum Auftreten von Be-

schwerden oder Ermüdungserscheinungen allgemeiner Art die Pedale. Die Durchschnittsgeschwindigkeit lag bei 25 - 30 km/st. Der Widerstand war auf 5 - 7 % geschaltet, um in absehbarer Zeit eine Ermüdung zu erreichen.

Die Patienten lagen alle vor Versuchsbeginn zu Bett. Die Versuche wurden überwiegend zwischen Frühstück und Mittagessen durchgeführt. Im Bett wurde zunächst der Arbeits- und Lagerungsversuch von RATSCHOW durchgeführt. Der Patient beugt beide Beine gleichzeitig im Hüft- und Kniegelenk in einem Winkel von 90°. Er beugt und streckt dabei beide Füße gleichmäßig und schnell hintereinander bis zum Auftreten von Schmerzen. Sowie Schmerz auftritt, erhebt sich der Patient und stellt sich schnell auf beide Füße. Jetzt wird die Zeit gemessen bis zum Wiedereinschiessen des Blutes in beide Füße (reaktive Hyperämie), die während des Versuches ischämisch geworden sind.
Nach zumindest 15 minütiger Erholung wurden die Patienten zu dem Fahrradergometer gefahren. Sie traten die Pedale in normaler aufrechter Fahrradhaltung bis zum Auftreten eines ersten deutlichen Schmerzes in den Beinen. Es wurde darauf geachtet, daß die Patienten bequem saßen, d.h. daß die Sattel- und Lenkstangenhöhe ihrer Größe entsprechend eingestellt wurde, und daß sie mit dem Vorfuß in die Pedale traten. Solange kein Schmerz auftrat, arbeiteten die Patienten gleichmäßig mit beiden Beinen. Beim ersten

Schmerzgefühl jedoch wurde das entsprechende Bein geschont und das schmerzfreie Bein übernahm einen Teil der Arbeit. Aus diesem Grunde wurde der Versuch beendet, sowie ein erster deutlicher Schmerz auftrat. Dieser Schmerz war - wie alle Patienten übereinstimmend aussagten - deutlich schwächer als der von der Claudicatio intermittens bekannte.

Die Patienten arbeiteten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 15 - 20 km/st. Die Älteren, stark adipösen oder dyspnoischen mit einer Geschwindigkeit von 10-15 km/st. Es war nicht möglich, die Patienten mit einer bestimmten einheitlichen Geschwindigkeit arbeiten zu lassen, wie z.B. 15 km/st. Für die alten, dyspnoischen oder adipösen Patienten war diese Geschwindigkeit zu groß - d.h. sie wurden dyspnoisch oder waren allgemein erschöpft, bevor ein Schmerz auftrat - für die jüngeren kreislaufgesunden Patienten war die Geschwindigkeit zu gering, d.h. ihr Interesse am Versuch erlahmte bei zu langer Versuchsdauer, ohne daß ein Schmerz auftrat. Es muß außerdem bemerkt werden, daß ein beträchtlicher Teil der Patienten noch nie auf einem Fahrrad gesessen hatte und somit kein Gefühl für gleichmäßiges Treten vorhanden war. Aus diesen Gründen durften die Patienten mit der für sie angenehmen Geschwindigkeit arbeiten.

TABELLE I.

Leistungen von 10 gesunden Versuchspersonen

Name	Fahrleistung in Km	Geschwindigkeit Km/Std	Widerstand in %	Ermüdung
Lo. ♀	6,0	20	5	Leichte Ermüdung im M. quadriceps beiderseits
Se. ♀	5,5	16	7	Allgemeine Ermüdung, keine Muskelermüdung.
Sr. M. ♀	10,3	23	5	Allgemeine Ermüdung, keine Muskelermüdung.
Bo. ♀	6,0	22	5	Ermüdung des M. quadriceps beiderseits.
Ro. ♂	7,2	30	5	Leichtes Ziehen in beiden Waden.
Ho. ♂	10,2	25	7	Stärkeres Ziehen im M. quadriceps beiderseits.
Ca. ♂	10,0	22	7	Stärkeres Ziehen im M. quadriceps beiderseits.
Bo. ♂	10,4	20	7	Schweregefühl im M. quadriceps beiderseits
Ka. ♂	9,2	25	7	Ziehen und Ermüdung in beiden Ober- und Unterschenkeln
Ste. ♂	11,0	20	7	Leichte Ermüdung beider Ober- und Unterschenkel

Auswertung von Tabelle I.

Die 4 weiblichen Versuchspersonen leisteten bei mindestens 5 % Steigung mindestens 5,5 km. Bei keiner bestanden bei Versuchsende Schmerzen, sondern lediglich allgemeine Ermüdung bzw. Ermüdung in den Quadricepsmuskeln.
Die 6 männlichen Versuchspersonen leisteten bei 7 % Steigung mindestens 7,2 km, keine Versuchsperson hatte bei Versuchsende Schmerzen in den unteren Extremitäten. Es bestanden lediglich z.T. leichte Ermüdung in den Quadricepsmuskeln, allgemeine Ermüdung mit Tachycardie und Schweißausbruch bei Versuchsende.

TABELLE II.

Erklärung der Zeichen Seite 19

Die Ergebnisse der Aorto- bzw. Arteriographie und die Leistungen der Patienten auf dem Fahrradergometer werden gegenübergestellt.

	Aorto-bzw. Arteriographie		Arbeitsleistung				
Patient	rechts	links	Fahrleistung in Km	Geschwindigkeit Km/Std.	Widerstand in %	Schmerzen	
J1 ♂	• A.il.int. K o	• A.il.int. K o	0,65	13.0	5	re.	Li.
J2 ♂	• A.ilica com.	—	4,5	27.0	5	re	Li
J3 ♂	• A.ilica com.	⌀	2,5	20,5	5	re	–
F1 ♀	o	• F K o	1,0	20,0	5	–	Li
F2 ♂	• F K ⌀	• F K ⌀	1,8	13,5	5	re	–
F3 ♂	• F K	• F K	6,1	18,0	5	re	–
F4 ♂	• F K o	• F o	2,5	25,0	5	–	Li
F5 ♂	• F K o	• F K o	0,7	10,5	5	re	–
F6 ♂	• FP K ⌀	• F K	0,6	12,0	5	re	Li
F7 ♂	• F K o	• F K o	8,1	12,0	5	–	Li
F8 ♂	• F K o	o	12,0	17,0	5-7-10	–	–
F9 ♂	• F K o	• F K o	1,9	12,5	5	re	–
F10 ♀	• F K o	• F K o	1,2	9,0	3	re	Li
F11 ♀	• F K	• F K	2,1	12,6	3	re	–
F12 ♂	⌀	• F K	2,1	19,3	5	–	Li
F13 ♂	• F K ⌀ F	⌀ F	10.0	23,0	5-7-10	re	–
F14 ♂	• F K ⌀	• F K ⌀	0,5	10,9	5	re	Li
F15 ♂	⌀	• F K ⌀	3,1	23,9	5	–	Li
F16 ♂	• F K	• F K o	2,35	23,5	5	–	Li
F17 ♂	o	• F K o	—	—	—		Li
P1 ♀	• P K	o	1,1	11,5	3	–	Li
P2 ♂	• P K o A.tib.	• F K o A.tib.	3,4	20,5	5	re	–
P3 ♂		o A. popl.	5,0	20,0	3	–	Li
P4 ♂	• P o		2,0	28,0	5	re	–
Tp1 ♂	• F K	• Tp. K. o	9,0	16,0	5-7	–	–
Tp2 ♀	• Tp. K o	• Tp. K o	0,3	4,5	3	–	Li
Tp3 ♀		• Tp	5,0	15,5	5	–	–
V1 ♂	⌀		0,6	12,0	5	re	–
V2 ♂	⌀	⌀	1,2	10,5	5	re	–
V3 ♂	o A. fib.		1,2	10,5	5	re	–
V4 ♀	⌀	⌀	3,6	19,4	3	–	Li
V5 ♂		o	0,7	13,8	5	re	Li

Zu Tabelle II.

Erklärung der Zeichen:

- ● Verschluß der Arterie
- o Starke verengernde Veränderungen der Wandkonturen der großen und mittleren Arterien
- ⌀ Deutliche " " " "
- ⌀ Geringe " " " "
- K Kollateralkreislauf ausgebildet

F. = A. femoralis, P. = A. poplitea, Tp = A. tib. post.

Die Patienten wurden nach dem Sitz des Arterienverschlusses oder der Art ihrer Erkrankung in Gruppen zusammengefaßt:

I = Verschluß in der A. ilica com., oder in der A. ilica int.

F = Verschluß in der A. femoralis

P = Verschluß oder starke Einengung in der A. poplitea

Tp = Verschluß in der A. tib. post.

V = Patienten ohne Arterienverschluß, jedoch mit mehr oder weniger hochgradigen Arterieneinengungen

Auswertung

Von den 32 Patienten haben 24 mit unter 5,5 km geringere Fahrradleistungen erzielt als die schlechteste weibliche Versuchsperson. Dies weist auf Durchblutungsstörungen der Extremitäten hin.

Die Patienten wurden auf Grund ihrer Leistungen in 5 Gruppen eingeteilt. Die Größe ihrer Leistung wird mit der

Schwere der Erkrankung anhand der vorhandenen Aorto- oder Arteriographiebefunde verglichen.

Aufteilung der Patienten nach ihren Fahrradleistungen:

Gruppe I: 5 Pat. mit Fahrradleistungen von 6,1 km und mehr
Gruppe II: 6 Pat. mit " zwischen 3,1 km und 5 km
Gruppe III: 6 Pat. mit " zwischen 2,0 km und 3 km
Gruppe IV: 7 Pat. mit " zwischen 1,0 km und 1,9 km
Gruppe V: 8 Pat. mit " zwischen 0 km und 0,9 km

Aufteilung der Patienten nach der Art ihrer Erkrankung:

Von den 32 Patienten haben 26 Patienten einen Gefäßverschluß, davon:

2 Pat. im Gebiet der A. ilica com.
1 Pat. im Gebiet der A. ilica int.
17 Pat. im Gebiet der A. femoralis
3 Pat. im Gebiet der A. poplitea
3 Pat. im Gebiet der A. tibialis post.

6 Patienten haben Gefäßveränderungen im Sinne einer Gefäßwandeinengung von geringem bis starkem Grad.

Im folgenden Text wird bei der kurzen Wiedergabe des Aorto- bzw. Arteriographiebefundes nur die Extremität berücksichtigt, an der während des Versuches Schmerzen auftraten.

Gruppe I

Pat. F_3, F_7, F_8, F_{13}, Tp_1

Bei allen 5 Patienten besteht eine Unterbrechung der Strombahn in der A. femoralis, bei 1 Patienten zusätzlich in der A. tib. post. Bei 4 Patienten wird die Arterie kurz nach ihrer Unterbrechung, bei 1 Patienten 3 handbreit distal durch kollaterale Anastomosen voll wieder aufgefüllt. Bis auf 1 Patienten haben die übrigen starke verengernde Veränderungen der Wände der großen und mittleren Arterien. Bei allen 5 Patienten besteht ein gut ausgebildetes Kollateralnetz aus erweiterten Gefäßen der A. fem. prof., das die A. fem. bei 4 Patienten rasch wieder auffüllt.

Trotz Gefäßverschlüssen und -einengungen ist bei diesen Patienten wahrscheinlich auf Grund der Kürze der Unterbrechung der Widerstand in den Kollateralen nicht so hoch, daß der Widerstand in der Endstrombahn entscheidend abgenommen hat (Nach MARX, der das Ohmsche Gesetz (Stromstärke = gegebene Spannung : Widerstand) auf das Gefäßsystem angewandt hat, muß der Gesamtwiderstand des Gefäßsystems in der betroffenen Extremität gleichbleiben).

Beurteilung des Versuchsergebnisses bei Gruppe I.

Bei allen Patienten besteht eine ausgesprochene arterielle Durchblutungsstörung auf Grund des Arterio- oder Aortographiebefundes. Die Leistungen auf dem Fahrradergometer lassen diese nicht erkennen. Mit Hilfe des Fahrradergometers kann jedoch eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des Kollateralkreislaufs gemacht werden.

Gruppe II.

Pat. I_2, F_{15}, P_2, P_3, Tp_3, V_4

I_2 Es besteht eine Stenose in der re. A. ilica kurz nach ihrem Abgang aus der Aorta. Die Aorta und die A. ilica bds. sind stark eingeengt. Die Arterien der Extremitäten sind ausreichend gefüllt.

F_{15} Die A. fem. ist am Übergang zur A. popl. unterbrochen, erst die Unterschenkelarterien werden durch Kollateralanastomosen wieder aufgefüllt.

P_2 Die Unterbrechung liegt in der A. popl., die distalen Arterien werden unter Auslassung der A. tib. ant. durch Kollateralanastomosen aufgefüllt.

P_3 Die A. poplitea ist kurz nach ihrem Abgang stark verschmälert, die arterielle Strombahn ist im übrigen unauffällig.

Tp_3 Die A. tib. post. bricht beim anzunehmenden Abgang der A. fib. abrupt ab. Die A. fib. und die A. tib. post. sind nicht gefüllt. Es bestehen keine Wandveränderungen der Arterien.

V_4 Es bestehen nur geringe verengernde Veränderungen der Arterienwände.

Beurteilung des Versuchsergebnisses bei der Gruppe II.

Die geringeren Leistungen dieser Gruppe gegenüber Gruppe I können durch die verzögerte Wiederauffüllung der arteriellen Strombahn erklärt werden.

Gruppe III.

Pat. I_3, F_4, F_{11}, F_{12}, F_{16}, P_4

I_3 Es besteht eine Unterbrechung in der A. ilica com. Durch untereinander anastomosierende Beckennebengefäße wird die A. fem. prof. schwach aufgefüllt, die A. fem. wird im letzten Drittel über Kollateralanastomosen aus dem Gebiet der A. fem. prof. schwach aufgefüllt.

F_4 Unterbrechung der Strombahn in der mittleren A. fem. Die Arterie wird durch ein Kollateralnetz 4 Querfinger proximal des Kniegelenkspaltes wieder aufgefüllt.

Es bestehen zum Teil beträchtliche verengernde Veränderungen der Wände der großen Arterien.

F_{11} Die A. fem. und die A. fem. prof. sind nicht gefüllt. Von der A. fem. prof. sind Äste teilweise dargestellt. Zartgeschlängelte Kollateralanastomosen reichen über die Kniegelenksregion zum Unterschenkel.

F_{12} Die A. fem. ist nur bis zur Oberschenkelmitte aufgefüllt. Sie geht dann in ein medial verlaufendes Seitengefäß über und gibt vor ihrem Abbruch zahlreiche kleinkalibrige Gefäße nach distal ab, die in ein engmaschiges Kollateralnetz über dem Kniegelenk münden. Die A. fem. prof. ist weitgehend gefüllt.

F_{16} Die A. fem. wird erst in der distalen Hälfte durch Kollateralanastomosen aus der A. fem. prof. aufgefüllt. Es bestehen starke, teilweise beträchtliche verengernde Veränderungen der Arterienwandkonturen.

P_4 Die A. poplitea bricht in Höhe des Kniegelenkspaltes abrupt ab. Kurz vorher zieht ein erweiterter arterieller Nebenast nach distal, wo er ein feinmaschiges, feinkalibriges Kollateralnetz versorgt, aus dem Teilstücke der A. fib. aufgefüllt werden. Die arteriellen Gefäße zeigen starke verengernde Veränderungen der Wände.

Beurteilung des Versuchsergebnisses bei der Gruppe III.

Die A. fem. ist bei 4 Patienten (I_3, F_{11}, F_{12}, F_{16}) nicht oder nur in einem kurzen Abschnitt, bei 2 Patienten (I_3, F_4) erst im Endabschnitt gefüllt. Bei P_4 ist die A. poplitea nicht gefüllt.

Bei allen Patienten besteht ein verzweigtes, langes kollaterales Anastomosennetz, der Widerstand in den Kollateralanastomosen erhöht sich damit beträchtlich, der Widerstand in der Endstrombahn und damit der Blutdruck nehmen ab. Die schlechteren Leistungen dieser Gruppe lassen sich also aus dem Arteriographiebefund heraus erklären und entsprechen den hierdurch bedingten mangelhaften Durchblutungsverhältnissen der Gliedmaßen, ohne daß sie jedoch den Sitz der Durchblutungsstörung exakt erkennen lassen.

Gruppe IV.

Pat. F_1, F_2, F_9, F_{10}, P_1, V_2, V_3

F_1 Die A. femoralis bricht 2 handbreit distal des Trochanter min. ab und wird 1 handbreit distal durch ein Kollateralnetz aus dem Gebiet der A. fem. prof. wieder aufgefüllt. An den größeren arteriellen Gefäßen bestehen sehr erhebliche verengernde Veränderungen der Wandkonturen.

F_2 Die A. fem. gibt vor ihrer Unterbrechung 1 1/2 handbreit proximal des Kniegelenkspaltes stark erweiterte Nebenäste ab, die mit dem erweiterten Gefäßnetz der

A. fem. prof. anastomosieren. Die Gefäßwandkonturen sind geringgradig verändert.

F_9 Die A. fem. wird erst am Übergang zur A. popl. durch Kollateralanastomosen aus dem Gebiet der A. fem. prof. aufgefüllt.

F_{10} Die A. fem. wird links 2 handbreit, rechts 1 1/2 handbreit über dem Kniegelenkspalt durch stark erweiterte, distal anastomosierende Nebenäste aus der A. fem. prof. aufgefüllt. An den Aa.fem. bestehen starke verengernde Veränderungen der Wände.

P_1 Die rechte A. popl. bricht in ihrem mittleren Bereich abrupt ab, kurz nach Abgabe einer Reihe von erweiterten Nebenästen. Eine Aufspaltung in die Unterschenkelarterien, sowie eine sichere Darstellung derselben ist nicht zu erkennen. An beiden Extremitäten sind alle dargestellten Gefäße stark bis sehr stark eingeengt.

V_1 Es bestehen sehr starke Einengungen aller arteriellen Gefäße.

V_2 Es bestehen teilweise geringe Einengungen der art. Gefäße.

Beurteilung des Versuchsergebnisses bei der Gruppe IV.

Bei allen Patienten besteht im Arteriographiebefund keine graduelle Vermehrung der arteriellen Durchblutungsstörung im Vergleich zu den Befunden der Gruppe III. Durch das

Fahrradergometer wird bei diesen Patienten eine geringere Leistungsfähigkeit des Kollateralnetzes bzw. der eingeengten Gefäße festgestellt.

Die geringe Leistung des Patienten V_2 findet im Arteriographiebefund keine Begründung. Es kann sich um einen Fall vorwiegend funktioneller Durchblutungsstörung handeln.

Gruppe V.

Pat. I_1, F_5, F_6, F_{14}, Tp_2, V_1, V_5, F_{17}

I_1 Die A. ilica int. und die A. fem. sind rechts und links nicht gefüllt. An der linken Extremität bestehen an den großen arteriellen Gefäßen starke verengernde Veränderungen der Wandkonturen.

F_5 Die Füllung der A. fem. bricht 1 handbreit proximal des Kniegelenkspaltes ab. Die A. popl. wird im proximalen Drittel durch erweiterte, anastomosierende Nebenäste aus dem oberen Teil der A. fem. aufgefüllt. An den großen und mittleren arteriellen Gefäßen bestehen stärkste verengernde Veränderungen der Wandkonturen.

F_6 Die rechte A. fem. und A. popl. sind nicht gefüllt. Die Unterschenkelgefäße werden durch Kollateralanastomosen aus erweiterten Nebenästen der A. fem. prof. aufgefüllt. Es bestehen deutliche verengernde Veränderungen der Wand-

konturen der dargestellten Gefäße.

F_{14} Die linke und rechte A. fem. werden erst 2 handbreit proximal des Kniegelenkspaltes über ein erweitertes Kollateralnetz aus erweiterten Nebenästen der A. fem. prof. aufgefüllt. An den mittleren und kleinen Arterien der linken Extremität bestehen erhebliche, teilweise sehr starke verengernde Veränderungen der Gefäßwandkonturen.

F_{17} Die A. fem. links wird 2 handbreit proximal des Kniegelenkspaltes abrupt unterbrochen, sie wird 1 Querfinger distal durch ein Kollateralnetz aus der A. fem. prof. wieder aufgefüllt. Es bestehen besonders an der A. fem. stärkere verengernde Veränderungen der Wandkontur.

Tp_2 Die A. tib. post. bricht kurz nach Abgabe der A. fib. ab, sie wird 3 Querfinger weiter distal durch Kollateralanastomosen wieder aufgefüllt.

V_1 Bei einer 1961 vorgenommenen Aortographie waren die Gefäße bis einschließlich A. fem. regelrecht.
Im Oscillogramm zeigten sich jedoch am rechten Fuß und Knöchel keine Ausschläge, an der rechten Wade gegenüber der linken nur ein minimaler Ausschlag.
Am Knie waren die Ausschläge beidseitig gleich gering.

Die Unterbrechung oder starke Einengung liegt also wahrscheinlich in der rechten A. tib.

V_5 Es bestehen in der arteriellen Strombahn der linken Extremität, besonders in der A. fem. teilweise sehr starke Einengungen der Gefäßwände.

Beurteilung der Versuchsergebnisse bei der Gruppe V.

Nach dem Aorto- bzw. Arteriographiebefund ist der Schweregrad der Erkrankung bei diesen Patienten nicht größer als bei den Patienten der Gruppen III und IV.

Es kann zusammenfassend gesagt werden, daß die Leistungen auf dem Fahrradergometer keine Rückschlüsse auf die Schwere der Erkrankung erlauben, sie geben lediglich einen Hinweis auf die Leistungsfähigkeit des Kollateralkreislaufs.

Bei Patient F_{17} bestand bereits bei Belastung der Beine mit dem Körpergewicht beim Besteigen des Fahrrades eine Verstärkung der immer vorhandenen leichten reißenden und kneifenden Schmerzen in der linken Wade. Der eigentliche Fahrrad-Arbeitsversuch konnte deshalb nicht durchgeführt werden.

TABELLE III.

Vergleich zwischen Gehstrecke und Fahrleistung.

Name	Gehstrecke in m	Schmerzlokalisation	Fahrleistung in km	Schmerzlokalisation
Ar.	100	beide Füße und Waden	0,6	beide Waden
Au.	200	linke Wade	2,35	linker Oberschenkel
Ba.	10	linke Wade	0,5	linker u. rechter Oberschenkel
Bl.	150	beide Waden	0,65	beide Waden
Bö.	50	beide Waden	2,1	rechte Wade
Bü.	100	linke Wade	2,1	linke Wade
Dö.	60	rechte Wade	2,5	rechte Wade
Du.	100	linke Wade	5,0	linker Spann
Fi.	30	rechter Fuß	0,7	rechte Wade
Gä.	10	linker Fuß	1,0	linke Wade, li. Oberschenkel
Ge.	500	rechte und linke Wade	3,1	linke Wade
He.	Keine Gehbeschwerden		12,0	– –
Hes.	150	rechte Wade	1,0	rechte Wade
Hi.	100	rechte und linke Wade	0,7	rechte und linke Wade
Ja.	75	rechte Wade	4,5	rechte Wade und Leiste
Ka.	70	linke Wade	0,3	linke Wade
Ku.	10	beide Beine	1,4	rechtes Kniegelenk
Le.	150	beide Beine	6,1	rechte Wade
Ma.	50	linke Wade	3,6	linke Wade, li. Oberschenkel
Pr.	25	rechte Wade	10,0	beide Ober- u. Unterschenkel
Ra.	70	beide Waden	3,0	rechter Vorfuß
So.	500	beide Vorfüße	5,0	– –
Su.	10	beide Füße	–	– –
Sw.	50	rechte Wade	1,9	rechte Wade
Sch	200	linke Zehen	2,5	linker Oberschenkel
Ste.	20	rechte Wade	1,2	rechte Wade
Stu.	700	linke Wade	9,0	allgem. Muskelermüdung
Stü.	100	linke Wade	8,1	– –
Ti.	50	beide Waden	0,6	rechte Wade

Zu Tabelle III, Auswertung.

Bei der Gegenüberstellung der in der Anamnese angegebenen ungefähren Gehstrecke in m und der Leistung auf dem Fahrradergometer in 0,1 km ist bei allen Patienten die auf dem Fahrrad zurückgelegte Strecke wesentlich größer als die Gehstrecke. Im Durchschnitt beträgt sie das 25-fache, wobei zu berücksichtigen ist, daß, je größer die Gehstrecke ist, desto kleiner im Verhältnis die Fahrstrecke und je kleiner die Gehstrecke, desto größer im Verhältnis die Fahrstrecke.

Aus der Untersuchung wird deutlich, daß die Patienten mit arteriellen Durchblutungsstörungen sich aktiv über weit längere Strecken mit dem Fahrrad fortbewegen können als zu Fuß. Dieses erklärt sich - wie bereits erwähnt - daraus, daß sich die Arbeit beim Radfahren auf mehrere und z. T. mehr proximal gelegene Muskelgruppen verteilt als beim Gehen. Außerdem spielt beim Gehen die Gewichtsbelastung eine zusätzliche, wichtige Rolle.

Eine direkte Beziehung zwischen der Gehstrecke und der Leistung auf dem Fahrradergometer kann nicht gefunden werden.

Z.B. legen Patienten mit Gehstrecken zwischen 10 und 60 m auf dem Fahrradergometer Strecken zwischen 0,3 und 3,6 km zurück, Patienten mit Gehstrecken über 60 m haben dagegen

Leistungen zwischen 0,6 und 9 km.
Im Durchschnitt ist die Leistung auf dem Fahrradergometer aber desto größer, je größer die Gehstrecke ist, womit immerhin eine relative Vergleichsmöglichkeit beider Leistungsprüfungen - Gehstrecke und Radfahrstrecke - gegeben ist.

TABELLE IV

Gegenüberstellung der Patientenleistungen beim Katschowschen Lagerungs- und Arbeitsversuch, sowie auf dem Fahrradergometer vor und nach Behandlung oder Operation.

Patienten vor und nach Konservativer Behandlung

Name	Arbeitsversuch nach Ratschow Auftreten von Schmerzen		Arbeitsversuch auf dem Fahrradergom. Auftreten von Schmerzen	
	vor	nach Behandlung	vor	nach Behandlung
Bö.	nach: 10"	nach: 2' 30"	nach: 2,1 km	nach: 4,1 km
Bü.	1'15"	1' 55"	2,1 km	7,5 km
Gä.	10"	1' 05"	1,0 km	1,5 km
Ge.	1'05"	55"	3,1 km	4,0 km
St.	2'30"	—	1,2 km	1,6 km
Ti.	1'10"	1'15"	0,6 km	1,5 km

Patienten vor und nach Sympathektomie bzw. Thrombendarteriektomie

Au.	30"	1'00"	2,35 km	4,3 km
Dö.	3'00"	1'00"	2,5 km	3,0 km
Kl.	1'05"	1'35"	2,0 km	5,1 km
Me.	—	1'15"	1,4 km	1,8 km

Auswertung von Tabelle IV.

Bei allen 6 konservativ behandelten Patienten ist durch wesentlich größere Leistungen auf dem Fahrradergometer nach der Behandlung eine eindeutige Besserung festzustellen.

Auch der zur Kontrolle vorgenommene RATSCHOWsche Lagerungs- und Arbeitsversuch hat sich bei allen bis auf einen Patienten wesentlich gebessert.

Bei 2 der 3 sympathektomierten Patienten ist die Verbesserung der Leistung auf dem Fahrradergometer beträchtlich, beim 3. Patienten deutlich größer. Bei dem 2. Patienten (Dö.) wurde die Leistung nach Thrombendarterieektomie ebenfalls deutlich größer.

TABELLE V

Vergleich zwischen Ratschowschen Lagerungs- und Arbeitsversuch und dem Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer in bezug auf Schmerzeintritt und Auftreten der reaktiven Hyperämie.

	Arbeitsversuch nach Ratschow					Arbeitsversuch Fahrradergometer				
	Schmerzeintritt nach:			reaktive Hyperämie nach:		Schmerzeintritt nach:			reaktive Hyperämie	
Pat	Zeit	re.	li.	rechts	links	Km	rechts	links	rechts	links
J_1	1'40"	+	+	20"	20"	0,65	3'	3'	–	–
J_2	1'20"	+	+	50"	40"	4,5	10'	10'	40"	35"
J_3	3'	+	–	15"	10"	2,5	7'20"	–	20"	20"
F_1	1'10"	–	+	15"	25"	1,0	–	3'15"	10"	25"
F_2	1'15"	+	–	20"	–	1,8	8'	–	–	–
F_3	4'30"	+	+	20"	20"	6,1	21'	–	–	–
F_4	1'	–	+	–	20"	2,5	–	6'	–	–
F_5	55"	+	–	20"	25"	0,7	4'	–	–	–
F_6	1'54"	–	+	19"	19"	0,6	2'25"	2'25"	20"	20"
F_7	4'	–	+	10"	15"	8,1	–	40'	–	–
F_8	2'20"	+	–	11"	5"	12,0	–	–	–	45"
F_9	3'45"	+	–	30"	45"	1,9	9'	–	–	–
F_{10}	4'	+	+	25"	30"	1,2	8'	–	–	–
F_{11}	10"	–	+	2"	2"	2,1	10'30"	–	10"	20"
F_{12}	1'15"	–	+	15"	15"	2,1	–	6'30"	20"	10"
F_{13}	55"	+	–	30"	15"	10,0	26'	–	25"	15"
F_{14}	45"	–	+	10"	10"	0,5	–	2'45"	25"	3"
F_{15}	1' 5"	+	+	15"	15"	3,1	–	7'45"	20"	10"
F_{16}	30"	+	+	6"	4"	2,4	–	5'	–	–
F_{17}	30"	–	+	8"	10"	–	–	–	–	–
P_1	1'42"	+	–	1'50"	30"	1,1	–	5'50"	30"	30"
P_2	1'45"	+	+	45"	25"	3,4	10'	–	–	30"
P_3	1' 5"	+	+	20"	10"	2,0	4'24"	4'24"	30"	20"
T_{R1}	2' 5"	–	+	15"	15"	9,0	34'	–	15"	15"
T_{R2}	30"	–	+	–	40"	0,3	–	4'	–	–
T_{R3}	3'25"	+	+	8"	8"	5,0	19'	–	8"	10"
V_1	25"	+	–	50"	30"	0,6	3'	–	–	–
V_2	40"	+	–	25"	15"	1,2	7'	–	–	–
V_3	2'30"	+	–	25"	2"	1,2	7'	–	–	–
V_4	1' 5"	–	+	15"	15"	3,6	–	11'	20"	30"
V_5	45"	+	–	8"	13"	0,7	2'45"	2'45"	15"	30"

Auswertung von Tabelle V.

Der Vergleich zwischen der Zeitdauer bis zum Schmerzeintritt beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch und dem Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer zeigt einen klaren Zusammenhang.

I. Bei kurzer Zeitdauer bis zum Eintritt des Schmerzes beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch (unter 1') folgt eine geringe Leistung auf dem Fahrradergometer:

F_5, F_{14}, Tp_2, V_1, V_2, V_5

Ausnahmen: F_{11}, F_{13}, F_{16}

F_{11}: Der rasche Schmerzeintritt beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch wurde bedingt durch krampfartige Schmerzen in der Hüfte, die bei der Patientin als Folge der typischen Haltung infolge einer Hüftgelenkerkrankung auftraten.

F_{13}: Bei diesem Patienten scheint die Blutversorgung der Muskulatur durch die verengten Gefäße und den Umgehungskreislauf nur mit Hilfe des hydrostatischen Druckes ausreichend zu sein.

F_{16}: Für diesen Patienten gilt das gleiche wie für F_{13}.

II. Eintritt des Schmerzes beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch nach mehr als 1' zieht eine Mindestleistung

von über 1 km bis 3,6 km nach sich. Eine Ausnahme bilden I_1 und F_6, hierfür läßt sich im Arteriographiebefund keine Erklärung finden.

III. Dem Eintritt des Schmerzes beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch nach mehr als 2' entspricht eine Mindestleistung von 1,2 km bis zu 12 km auf dem Fahrradergometer.

D i e r e a k t i v e H y p e r ä m i e tritt nach dem Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer im Durchschnitt nach dem annähernd gleichen Zeitraum auf wie nach dem RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch!
Hierzu muß allerdings einschränkend bemerkt werden, daß nach dem Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer in einem Teil der Fälle keine deutliche reaktive Hyperämie beobachtet wurde (14 von 31 Patienten, bei LINDSTRÖM 3 von 14 Patienten). Es bestand also beim Auftreten des Schmerzes keine Ischämie, d.h. es war keine Insuffizienz der Hautdurchblutung vorhanden (LINDSTRÖM).
Der grundlegende Unterschied zwischen dem RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch und dem Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer besteht im Fehlen des hydrostatischen Druckes bei ersterem, wodurch die Schmerzen wesentlich eher auftreten als bei letzterem.

TABELLE VI

Lokalisation des Muskelschmerzes bei Arbeit auf dem Fahrradergometer, sowie beim Ratschowschen Lagerungs- und Arbeitsversuch.

	Ratschowscher Lagerungs- und Arbeitsversuch							Arbeitsversuch Fahrradergometer					
Pat.	Leiste	Hüfte	Oberschenk.	Knie	Wade	M. tib.	Fuß	Leiste	O'schenkel	Knie	Wade	M. tib.	Fuß
J_1					+						+		
J_2	+				+			+			+		
J_3							+				+		
F_1			+						+		+		
F_2					+						+		
F_3							+				+		
F_4					+				+				
F_5					+						+		
F_6					+						+		
F_7					+						+		
F_8							+						
F_9							+				+		
F_{10}					+						+		
F_{11}		+									+		
F_{12}						+					+		+
F_{13}						+			+				
F_{14}			+						+				
F_{15}					+		+				+		
F_{16}									+				
P_1					+						+		
P_2						+						+	+
P_3							+						+
Tp_1					+								
Tp_2							+				+		
Tp_3			+										
V_1					+		+		+	+			
V_2							+						+
V_3							+		+		+		
V_4						+			+		+		
V_5					+						+		

Auswertung von Tabelle VI.

Beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch wird der Schmerz bei 25 von 30 Patienten in die Wade, das Gebiet des M. tibialis oder in den Fuß lokalisiert, also in die Muskelgruppen, die hauptsächlich an der Arbeit beteiligt sind.
Beim Arbeitsversuch auf dem Fahrradergometer tritt der Schmerz bei 21 von 30 Patienten in der Wade, im Knie, im Gebiet des M. tib. oder im Fuß auf.

Besteht ein Zusammenhang zwischen Schmerzlokalisation und Unterbrechung der arteriellen Blutversorgung?

Beim RATSCHOWschen Lagerungs- und Arbeitsversuch entspricht bis auf eine Ausnahme die Schmerzlokalisation dem Aorto- bzw. Arteriographiebefund. Bei der Patientin Tp_3 war der Schmerz erst in der Wade zu erwarten, da sich eine Unterbrechung der Strombahn erst in der A. tib. findet. Hier handelt es sich wahrscheinlich um eine funktionelle Gefäßverengung proximal des Gefäßverschlusses (PÄSSLER, MARX,H.). Bei den Patienten I_1 und I_2 mit Gefäßverschlüssen der A. il. int. und der A. ilica com. ist die A. fem. prof. gefüllt, so daß hier kein Schmerz im Bereich der Oberschenkelmuskulatur zu erwarten war.
Arbeitsversuch mit Farradergometer:
1 Patient mit einer Stenose in der A. ilica com., 5 Patien-

ten mit Unterbrechung der arteriellen Strombahn im Bereich der A. fem., sowie 3 Patienten mit Verengerungen der grossen und mittleren Gefäße in den unteren Extremitäten lokalisieren den Schmerz in die Leistengegend bzw. in die Oberschenkelmuskulatur (M. quadriceps), die übrigens 20 Patienten lokalisieren den Schmerz in die Waden- und Fußmuskulatur.

Keiner der Patienten, die den Schmerz bereits im Oberschenkel empfinden, hat eine direkte Unterbrechung der Blutversorgung der Oberschenkelmuskulatur, da bei allen Patienten die A. fem. prof. gefüllt ist.
Die Schmerzlokalisation scheint also weniger von der Höhe der Unterbrechung der arteriellen Strombahn abhängig zu sein, als von der Kapazität der bei fast allen Patienten mehr oder weniger stark allgemein verengten großen und mittleren Gefäße und des Kollateralkreislaufs.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wurden Untersuchungen darüber angestellt, ob ein Fahrradergometer als Testgerät für einen Funktionstest geeignet ist.

Es sollte untersucht werden:

1. ob mit Hilfe der Leistungsergebnisse auf dem Fahrradergometer eine Aussage über das Vorliegen und die Schwere

einer Durchblutungsstörung möglich ist unter Vergleich mit den Ergebnissen der Aorto- und Arteriographie, z.T. mit denen der Oscillographie.

2. ob eine Besserung nach konservativer Behandlung oder Operation mit Hilfe des Gerätes meßbar ist.

3. ob eine Aussage über die Durchblutungskapazität der verengten Gefäße und des Kollateralkreislaufes gemacht werden kann.

4. ob eine Beziehung zwischen der Länge der anamnestisch erfragten Gehstrecke und der Leistung auf dem Fahrradergometer besteht.

5. ob aus der Schmerzlokalisation in bestimmte Muskelgruppen ein Rückschluß auf die Höhe der Gefäßeinengung oder Unterbrechung gezogen werden kann.

Als Kontrolle wurde bei jedem Patienten der RATSCHOWsche Lagerungs- und Arbeitsversuch vorgenommen, nachdem festgestellt worden war, daß in der Zeitdauer bis zum Eintritt des Schmerzes bei diesem Versuch und der Größe der Leistung auf dem Fahrradergometer eine direkte Beziehung zu finden war.

Ergebnisse.

Zu 1: Die Leistungen der überwiegenden Zahl der Patienten auf dem Fahrradergometer lassen auf das Vorliegen

einer Durchblutungsstörung schließen, erlauben jedoch keine genauen Rückschlüsse auf den Schweregrad der Erkrankung. Es kann aber festgestellt werden, daß Patienten mit geringen Leistungen im Durchschnitt auch an einer hochgradigen Durchblutungsstörung leiden. Die Leistungen auf dem Fahrradergometer geben einen guten Hinweis auf die Kapazität der Gefäße und des Kollateralkreislaufes.

Zu 2: Bei allen 10 Patienten ist nach Operation oder Behandlung anhand ihrer wesentlich größeren Leistungen auf dem Fahrradergometer eine eindeutige Besserung festzustellen.

Zu 3: Bei den Patienten mit Unterbrechung der arteriellen Strombahn über einen längeren Bereich bzw. mit mehr oder weniger stark eingeengten arteriellen Gefäßen (der Aorto- oder Arteriographiebefund wurde zugrunde gelegt) ist nur mit Hilfe eines Funktionstestes und zwar in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe des Fahrradergometers eine Aussage über die Kapazität der Durchblutung zu machen, da das Röntgenbild hierüber nichts aussagen kann.

Zu 4: Es konnte nicht bei allen Patienten ein Zusammenhang zwischen der Schmerzlokalisation und der Höhe der Ein-

engung oder Unterbrechung der arteriellen Strombahn gefunden werden. Die Schmerzlokalisation scheint hauptsächlich von der Kapazität der bei fast allen Patienten eingeengten Gefäße und des Kollateralkreislaufes abhängig zu sein.

Bemerkung zu der Auswahl des Patientenmaterials.

Es wurden nur Patienten ausgesucht, die bei Belastung noch einen gewissen Latenzschmerz bekamen, d.h. Patienten, bei denen die Blutversorgung der Extremitäten in der Ruhe ausreichend war. Es bestand bei der Zielsetzung der Arbeit kein Interesse, Patienten mit sichtbar nicht mehr ausreichender Blutversorgung zu untersuchen, da es uns vor allem auf eine Aussage über die nicht bekannte Kapazität der Blutversorgung ankam. Außerdem wurden nur Patienten mit kompensierten Herzfehlern untersucht, da bereits in der Ruhe dyspnoische Patienten zu keiner einen Schmerz hervorrufenden Leistung auf dem Fahrradergometer fähig waren.

Abschließende Beurteilung der Eignung des Fahrradergometers als Testgerät:

Mit Hilfe des Gerätes kann in den meisten Fällen zwar auf das Vorliegen einer Durchblutungsstörung geschlossen werden, es eignet sich aber nicht zur verbindlichen Beurteilung des Schweregrades der arteriellen Durchblutungsstörungen.

Es können mit seiner Hilfe nur verbindliche Aussagen über die Kapazität der Durchblutung in Extremitäten mit gestörter arterieller Durchblutung gemacht werden.
Außerdem eignet sich das Gerät gut zur Feststellung einer objektiven Verbesserung der arteriellen Durchblutung nach konservativer Behandlung und Operation.

Literaturverzeichnis.

BITTNER, W.: Die Sympathektomie im Therapieplan arterieller Durchblutungsstörungen. 67. Tagung der dtsch. Ges. f. inn. Medizin, Wiesbaden 1961, Med. Klinik 1961, I, 917

BLOCK, W.: Die Durchblutungsstörungen der Gliedmaßen. W. de Gruyter & Co, Berlin 1951

-- Beobachtungen am vegetativen Nervensystem nach Eingriffen am sympathischen Partner. Acta neurovegetativa 5 1953 S. 187

-- Paradoxe Reaktionen im vegetativen Bereich. Acta neurovegetativa Bd. 8 Heft 3 1953 S. 218

-- Wandlungen und Fortschritte in der Sympathicuschirurgie. Langenbecks Archiv 276 1953 S.38

-- Labilitätsphase und Stabilisation des vegetativen Nervensystems nach Eingriffen am Sympathikus. Langenbecks Archiv d. Dtsch. Z. Chir. Bd. 273 1953

-- Die Diagnostik Arterieller Gefäßerkrankungen. Sonderdruck aus Verhandlungen der Deutschen Orth. Ges. 48 Kongreß. Berlin 1960

-- Vegetative Reaktionen nach Sympathikusoperationen. Langenbecks Archiv 287 S. 657

BOYD,A.M.; HALL RATCLIFFE,A., JEPSON,R.P. and JAMES, G.W.H. Intermittent claudication. J. Bone Surg. 31 B. 325 (1949)

CALOV, H.J.: Die Breitmannsche Adrenalin-Histamin-Reaktion zur Überprüfung der vegetativen Tonuslage in spezieller Anwendung vor und nach Sympathektomie. Langenbecks Archiv klin. Chir. 302/637-652 (1963)

ERB,W.: Beiträge zur Pathologie des intermittierenden Hinkens. Münch. med. Wchschr. 52 1910 1105

EUFINGER,H.: Untersuchungen über die Brauchbarkeit der Oscillographie zur Diagnostik obliterierender Arterienerkrankungen. Langenbecks Archiv 287 S. 327

GESENIUS,H.: Oscillographie und Arteriographie. Dtsch. Med. Wchschr. 74, 1, 1949 I.

HALL,D.A. and GARDINER,J.E.: The Reaction between Elastase and Elastic Tissue. Bioch.J. 59 1955, 59, 465.

HENSEL,H.: Physiologische Grundlagen der Durchblutungsdiagnostik. Dtsch. med. Journal 9, 1958, 247.

HERGET, R.: Früh- und Spätergebnisse nach Grenzstrangresektion. Langenbeck Archiv 268, 1951.

HESS,H.: Über die Wirkung vasodilat. Maßnahmen auf den Bluteinstrom in die untere Extremität bei oblitierenden Gefäßerkrankungen. Zeitschrift für klin. Med. Bd . 153, S. 35 (1955)

HIPP,E.: Erkrankungen der Gliedmaßengefäße. Med. Klinik 1962 2 S. 1593

HOLLE,F.: Der Syncardontest, eine klin. Methode zur Funktionsprüfung der Gefäße bei periph. Durchblutungsstörungen, sowie zur Verfeinerung der Indikation für die Grenzstrangresektion. Ärztl. Wchschr. 1951, 6. Jahrg. S. 535.

KISCH,F.: Zur funktionellen Diagnostik der Dysbasia (Claudicatio) intermittens. Med. Klinik Nr. 9, 1936, S. 283.

KONCZ,J.: Begrenzung der Anzeigestellung zur Sympathektomie bei peripheren Durchblutungsstörungen. Langenbecks Archiv Band 269, S. 223 (1951)

LAUDA,E.: Nikotinschäden. Med. Klinik 1961, I 679.

LINDSTRÖM,B.L.: Function Test for Peripheral Arterial Circulatory Insufficiency in the Lower Extremities in Obstructive Arterial disease. Acta Chir. Scand. Supplementum 242.

MARX,H.; SCHOOP,W.: Über das Verhalten der periph. Strombahn in der reaktiven Hyperämie, Ztschr. Kreislaufforsch. 44 186, 1955.

MAY,R.: Sympathicuschirurgie. Therapie über das Nervensystem. Tagung in Bad Homburg, 1960 Med. Klinik, 1961 II 1770

MEYER-BURGDORF,G.: Photoelektrische Hautrötungsmessungen bei art. Durchblutungsmessungen. 80. Tagung der Dtsch. Ges. Für Chir. 1963 in München. (Mediz. Klinik 1963, I 1009

MEYER-BURGDORFF,G.: Experimentelle klin. Studie über art. Verschlußkrankheiten der Extremitäten und ihre Behandlung. Langenbecks Archiv klin. Chir. 294, 1-74 (1960)

MEYRAN,H.: Ein neues Ergometer zur Diagnostik periph. Durchblutungsstörungen. Zbl. Chir. 1952 Nr. 6 S. 246.

PÄSSLER,H.W.: Die Angiographie. Georg Thieme Verlag Stuttgart 1952.

RATSCHOW,M.: Der Arbeitsversuch als Leistungsprüfung der periph. Blutversorgung. Zentralbl. f. inn. Med. 57. J. 1936 S. 873

-- Der Arbeitsversuch, eine einfache Methode zur Erkennung u. Beurteilung peripherer art. Durchblutungsstörungen, Münch. Med. Wchschr. 84, 2, 1128, 1937

-- Zur Ätiologie der periph. Durchblutungsstörungen. Med. Klinik 1960 II S. 1791

RATSCHOW,M.: Klinik und Therapie der art. Verschlußkrankheiten. 67. Tagung der dtsch. Ges. f. inn. Mediz. Wiesbaden 1961, Med. Klinik 1961 I 917

-- Angiologie. Pathologie, Klinik und Therapie der per. Durchblutungsstörungen, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1959.

-- Zur Ätiologie der art. Verschlußkrankheiten. Med. Klinik 1963, 1, 344.

SAMUELS, S.S.: The early diagnosis of Thromboangiitis obliterans. The Journal A M A 92, 19, 1929 S. 1571.

SCHNEIDER,M.: Physiologische Grundlagen der Sympathicuschirurgie. Langenbecks Archiv 276, 23, 1953.

TIMMER,G.J.: Sympathicusausschaltung und Oscillometrie. Der Chirurg, 1951 S. 23.

VÖLKER, R.: Die funktionelle Diagnostik periph. Durchblutungsstörungen. D. Archiv f. inn. Medizin 196, 639 (1950).

Lebenslauf.

Am 20.6.33 wurde ich, Brigitte Godenschweger, als Tochter des Kaufmannes Walter Thiessenhusen in Kiel geboren.

Meine Schulausbildung erhielt ich in den Volksschulen Kiel, Malente-Gremsmühlen und Welzow N.L., sowie in den Oberschulen Eutin, Kiel und Hamburg. An der Klosterschule in Hamburg bestand ich am 4.2.1953 die Reifeprüfung. Anschließend studierte ich in Kiel ein Semester Volkswirtschaft. Im Wintersemester 1953/54 begann ich in Kiel mit dem Studium der Medizin, das ich in Göttingen fortsetzte, wo ich am 27.4.56 die ärztliche Vorprüfung mit dem Gesamturteil "gut" bestand. In den folgenden Semestern studierte ich in Kiel, Innsbruck und Berlin. Am 12.12.1959 bestand ich in Berlin die ärztliche Prüfung mit dem Gesamturteil "gut".

Während der Medizinalassistentinnenzeit arbeitete ich in der inneren und gynäkologischen Abteilung des Krankenhauses Waldfriede in Zehlendorf und in der chirurgischen Abteilung des St. Gertrauden Krankenhauses Wilmersdorf.

Am 4.5.1963 wurde mir die Bestallung als Arzt erteilt.

Ich heiratete am 30.12.1957 den Diplomlandwirt Walter Godenschweger. Meine beiden Kinder wurden am 16.7.1959 und am 27.6.1961 geboren.